

GEOFÍSICA APLICADA NO MAPEAMENTO DO TOPO DO AQUÍFERO FREÁTICO DE UMA VERTENTE EM CAMPO VERDE, MT

Shozo Shiraiwa¹, Carlos Antonio Moraes Machado², Alteredo Oliveira Cutrim³ e Fernando Ximenes de Tavares Salomão⁴

RESUMO:

Foi utilizado o método da Eletrorresistividade com a técnica da Sondagem Elétrica Vertical – SEV - para determinar a espessura das camadas e as respectivas resistividades elétricas do solo e do substrato rochoso ao longo de uma vertente na microbacia do córrego da Ilha, no município de Campo Verde, MT. As rochas mapeadas são da Formação Cachoeirinha e cobertas por latossolos. Os modelos gerados indicam camadas com espessuras e respectivas resistividades elétricas que foram interpretadas comparando-se com as observações de trincheiras e sondagens a trado efetuadas ao longo da vertente. Por meio das variações de resistividade elétrica obtidas nas camadas das SEVs, foi possível distinguir uma camada de solo com espessura média de 4,7m com presença do aquífero freático nos níveis inferiores. Abaixo, encontra-se o substrato rochoso associado à Formação Cachoeirinha, atingindo a profundidade entre 26m e 35m. A seguir, uma zona saturada com a provável presença do aquífero na Formação Cambambe.

Palavras-chave: eletrorresistividade, água subterrânea, solos.

ABSTRACT:

The method of electroresistivity was used and applied to the technique of Vertical Electric Sounding - VES - to determine the thickness of the layers and the respective electroresistivities of the soil and of the rocky substratum along a slope at the micro-basin of the Córrego da Ilha, in the municipal district of Campo Verde, MT. The mapped rocks are from the Cachoeirinha Formation and are covered by oxisol. The models indicate thickness layers and their electrical resistivity that were interpreted by comparing with observations from the trenches and auger surveys conducted along the slope. Through the variation of resistivity obtained in layers of VESs was possible to distinguish a soil layer with thickness of 4.7m with the presence of water-table aquifer in the lower levels. Below this the bedrock associated with Cachoeirinha Formation at the depth of 26m to 35m. The following is a saturated zone with the probable presence of the aquifer into Cambambe Formation.

Key-words: electroresistivity, soil, groundwater.

¹ Instituto de Física, UFMT., shozo@ufmt.br;

² Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, UFMT, . e-mail: kantonmm@yahoo.com.br.

³ Depto. de Geologia Geral, ICET, UFMT., alteredo@ufmt.br.

⁴ Depto. de Geologia Geral, ICET, UFMT., ximenes@ufmt.br

^{1,2,3,4} Av. Fernando Corrêa da Costa, sn, CEP 78060-900 Cuiabá – MT

1 - INTRODUÇÃO

A agricultura extensiva no Brasil é, em sua maioria, dependente do uso de agrotóxicos para controle de pragas. Vários setores da sociedade externam grande preocupação no sentido de reduzir e/ou controlar o uso destes agrotóxicos, buscando entender melhor seus efeitos sobre a biota. Uma das áreas de cultivo no Estado de Mato Grosso se encontra na Bacia do Alto Rio das Mortes, assentada sobre os latossolos predominantes. Estudos têm sido realizados (Dores et al., 2005) com a finalidade de monitorar continuamente e avaliar os efeitos da ação do homem sobre o meio, de tal forma que permitam avaliar os efeitos dos defensivos agrícolas sobre o solo e sobre as águas superficiais e subterrâneas. Para estimar estes efeitos sobre as águas subterrâneas é fundamental o conhecimento dos aquíferos presentes na área.

Com vista à determinação da espessura e profundidade do aquífero freático, efetuou-se uma combinação da investigação direta, através de furos, e investigações indiretas, através da utilização de métodos geofísicos. Neste trabalho foi utilizada a eletrorresistividade, recorrendo-se à técnica da Sondagem Elétrica Vertical – SEV.

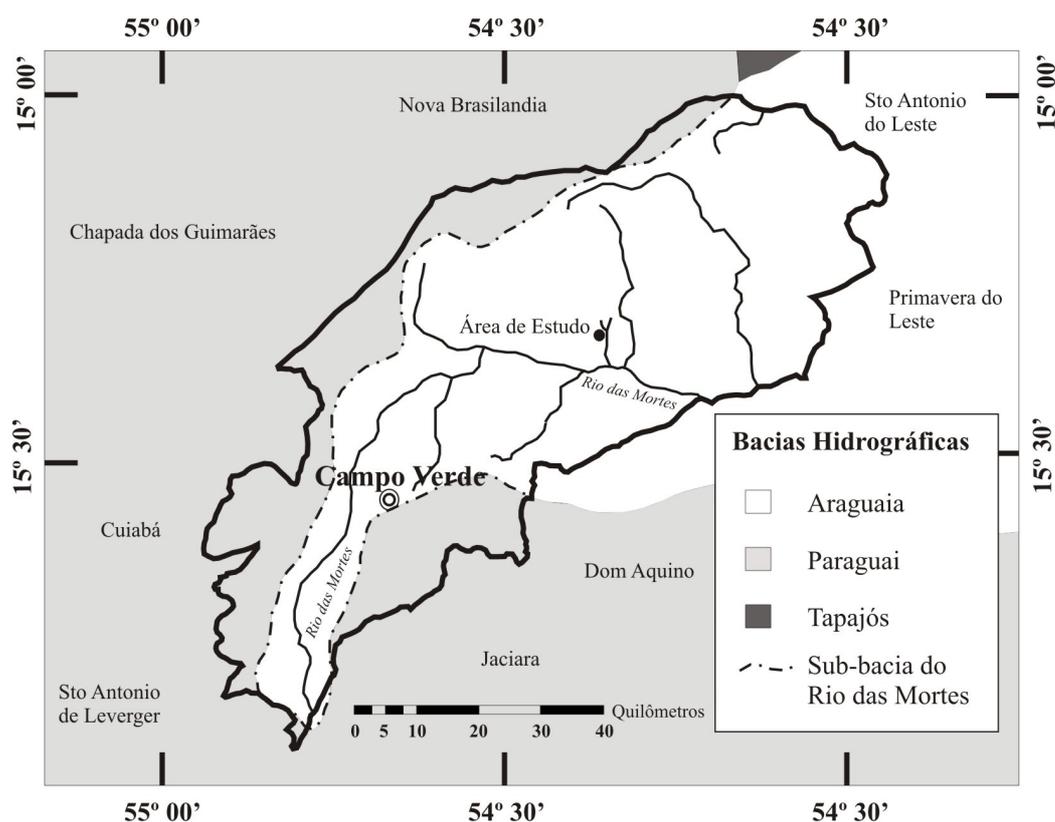


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. A linha preta espessa é o limite do município de Campo Verde. A linha preta fina corresponde aos principais cursos de água dentro da bacia do Alto Rio das Mortes (Adaptado de SEPLAN, 2002).

Este estudo foi realizado no município de Campo Verde, MT (Figura 1), grande produtora de algodão, região onde estão sendo efetuadas pesquisas sobre a presença dos resíduos dos principais

compostos químicos no solo e na água superficial e subterrânea, além das perdas de solo causadas pela erosão, resultantes também da ação antrópica (Dores et al., 2005).

2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Campo Verde/MT está inserido na microrregião de Primavera do Leste e na bacia hidrográfica do alto rio das Mortes, afluente da margem esquerda do rio Araguaia. A área de estudo fica, aproximadamente, a 30 km da cidade de Campo Verde, MT. No local foram realizados os estudos geofísicos e obtidos os dados referentes à pedologia.

2.1 - Geologia

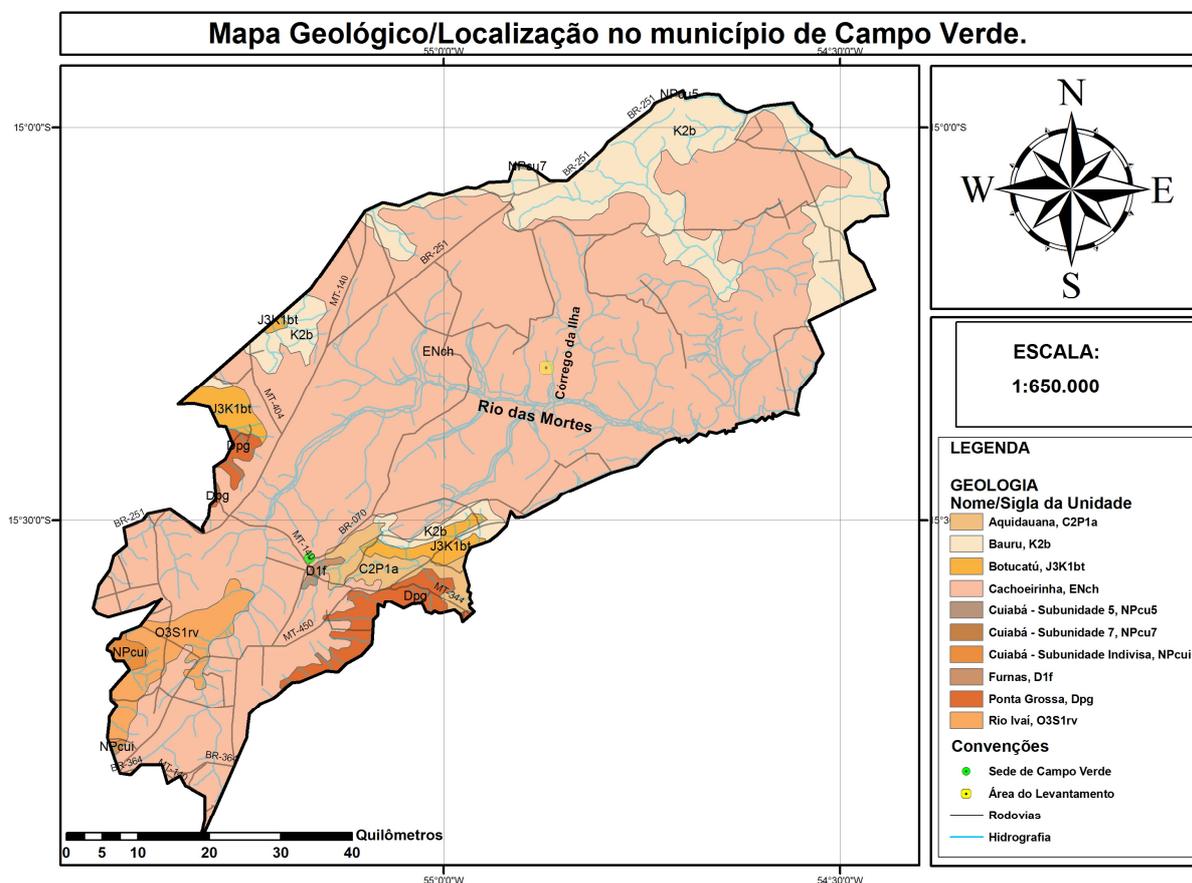


Figura 2 - Mapa Geológico/Localização da área de estudo em relação ao município de Campo Verde (Modificado de Lacerda Filho et al., 2004).

A área em apreço está situada no extremo NW da bacia do Paraná, mais precisamente pertence à Formação Cachoeirinha. Quanto à litologia, mostra cascalhos inconsolidados, praticamente monomíticos, por possuírem mais de 90% de seixos de quartzo, muito bem arredondados e de esfericidade alta. Trazem lentes arenosas e argilosas, algumas fortemente

cimentadas por óxidos de ferro, proporcionam cores avermelhadas a amareladas (limonitização) aos pacotes, formando, não raro, verdadeiras crostas laterizadas (Weska, 1996).

O embasamento é constituído pela Formação Cambambe. O topo desta unidade litoestratigráfica é caracterizado por arenitos argilosos microconglomeráticos a conglomeráticos, interdigitado por lentes de conglomerados, brechas intraformacionais, arenitos fino a médio e silcretes (Lacerda F^o. et al., 2004).

A região de Campo Verde apresenta clima tropical continental alternadamente úmido e seco, com temperaturas variando entre 18 e 24 graus. Desfila duas estações bem definidas: a seca, de junho a setembro, e a estação chuvosa, de outubro a maio, com precipitação pluviométrica média de 1700 mm anuais. Mais de 70% das chuvas acumuladas durante o ano se precipitam de novembro a março. Já o inverno, é extremamente seco e nessa época do ano as chuvas são muito raras. Nos planaltos e nas chapadas, com altitudes variando de 400 a 800m, ocorre atenuação térmica que reduz a perda de águas superficiais. O clima é definido como Tropical Continental Alternadamente Úmido e Seco (SEPLAN, 2002). As cotas altimétricas, variam de 500 a 700 metros, correspondem ao topo da chapada dos Guimarães, formando uma superfície aplanada muito conservada. Esta superfície é delimitada, em quase toda a extensão, por escarpas erosivas a sul. Neste extenso chapadão, os solos desenvolvidos são predominantemente do tipo Latossolo Vermelho-Escuro, distróficos, de textura argilosa, originalmente recobertos por vegetação de Savana Arbórea Aberta, e Latossolo Vermelho-Amarelo. Nas áreas dissecadas, os solos são constituídos de Areias Quartzosas. Um dos principais rios desta chapada é o rio das Mortes que drena a parte central da superfície aplainada (SEPLAN, 2002).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

O método da eletrorresistividade é o mais empregado na localização de aquíferos, devido ao fenômeno da condução eletrolítica nas rochas saturadas com água. Em meios acamados, a técnica de Sondagem Elétrica Vertical - SEV - é a que apresenta melhores resultados. O arranjo empregado foi o Shulumberger. A resistividade é obtida pela equação (Orellana, 1972):

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)}$$

Onde A e B, os eletrodos de corrente (I), e M e N, os eletrodos de potencial (ΔV). Utilizou-se a relação da distância entre os eletrodos de potencial $MN \leq AB/5$, onde AB é a distância entre os eletrodos de corrente, de modo a obter um valor de ΔV confiável. Como o meio não é homogêneo o

valor da resistividade é denominada de aparente e representada por (ρ_a), pois é obtida pela contribuição de todas as formações no subsolo.

Para obtenção dos dados de campo, foi utilizado um resistímetro Syscal com compensação de potencial espontâneo, acoplado com um módulo de potência de 250W e tensão máxima de 800V.

Após a obtenção das curvas de resistividade elétrica aparente, procedeu-se à modelagem, com a curvas gerada pelo modelo de camadas horizontais de resistividade utilizando-se um sistema semi-automático de ajuste através do software IPI2Win (Bobachev et al., 1999). que permite a obtenção do ajustamento da curva, de tal forma que se obtenha um menor desvio quadrático médio dos dados medidos. A relação entre profundidade investigada (z) e espaçamento dos eletrodos de corrente foi $AB/6 < z < AB/4$ (Rao & Apparao, 1971).

Por meio do ajuste semi-automático destas curvas, determinou-se a distribuição espacial da resistividade elétrica no subsolo, constituindo um modelo geoeletrico para cada ponto investigado.

Os resultados permitiram estimar as distribuições das resistividades e as respectivas espessuras das camadas de solo e do substrato rochoso. A etapa seguinte foi associar os dados da coluna geoeletrica a informações pedológicas e litológicas obtidas na área de estudo, o que possibilitou a construção de uma coluna geológica representativa nos pontos referentes às SEVs ao longo da vertente estudada.

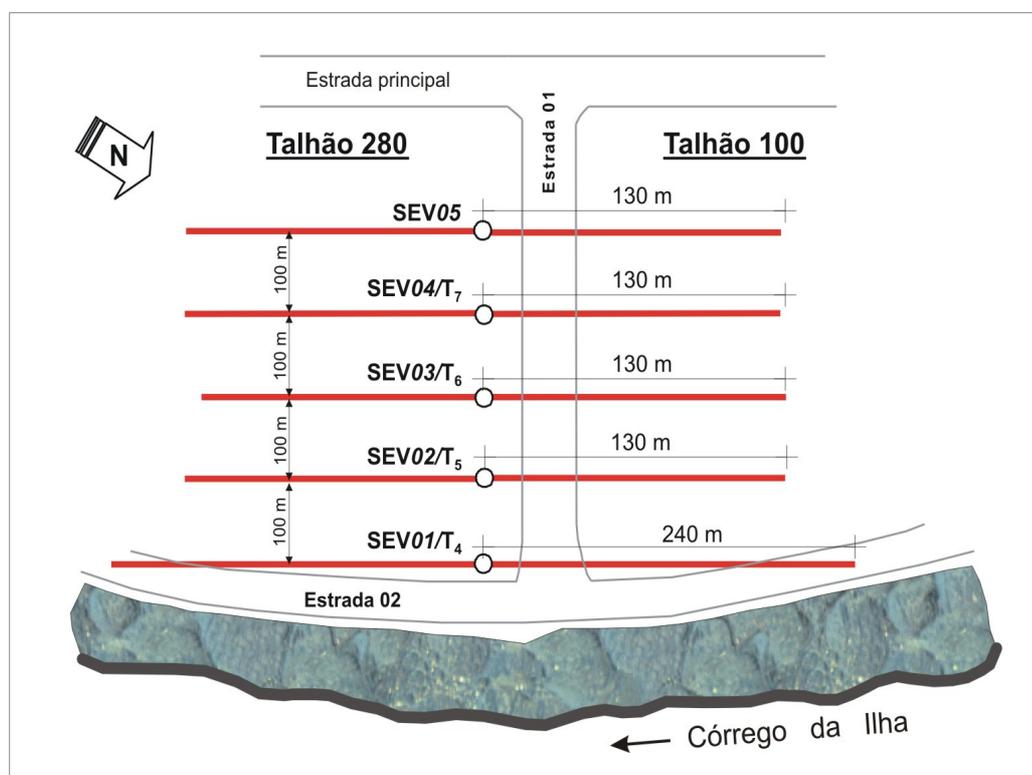


Figura 3 – Croqui de localização das cinco SEVs realizadas. A direção da abertura dos eletrodos de corrente (AB) está indicada pela linha vermelha. O maior valor de $AB/2$ está indicado em cada linha. O espaçamento entre as SEVs é de 100m. T_n indica a trincheira realizada no local.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3, estão representadas as posições das cinco Sondagens Elétricas Verticais realizadas. Nas linhas em vermelho, a direção da abertura dos eletrodos de corrente e de potencial. A máxima abertura $AB/2$ está indicada em cada linha. O círculo no meio de cada linha é o centro da SEV. O espaçamento entre as SEVs é de 100 m.

As curvas de resistividade elétrica aparente obtidas em campo são apresentadas na Figura 4. No eixo das abscissas, encontram-se os valores da semi-abertura ($AB/2$) dos eletrodos de corrente e, no eixo das ordenadas, os valores da resistividade elétrica aparente. As curvas estão plotadas no gráfico cuja escala, em ambos os eixos, é a logarítmica. No eixo das ordenadas, estão representados os valores iniciais de resistividade elétrica das curvas de campo, e, ao lado de cada valor, a identificação entre parênteses do número referente a cada sondagem elétrica. As SEVs 01 e 02 foram realizadas em Latossolo Vermelho-Amarelo. A partir da terceira SEV o solo foi classificado como Latossolo Vermelho. As SEVs 04 e 05 apresentam as curvas com comportamento muito próximo, ao longo de toda investigação, o que evidencia que, nos dois pontos investigados, o meio não revela grande variação do ponto de vista da resistividade.

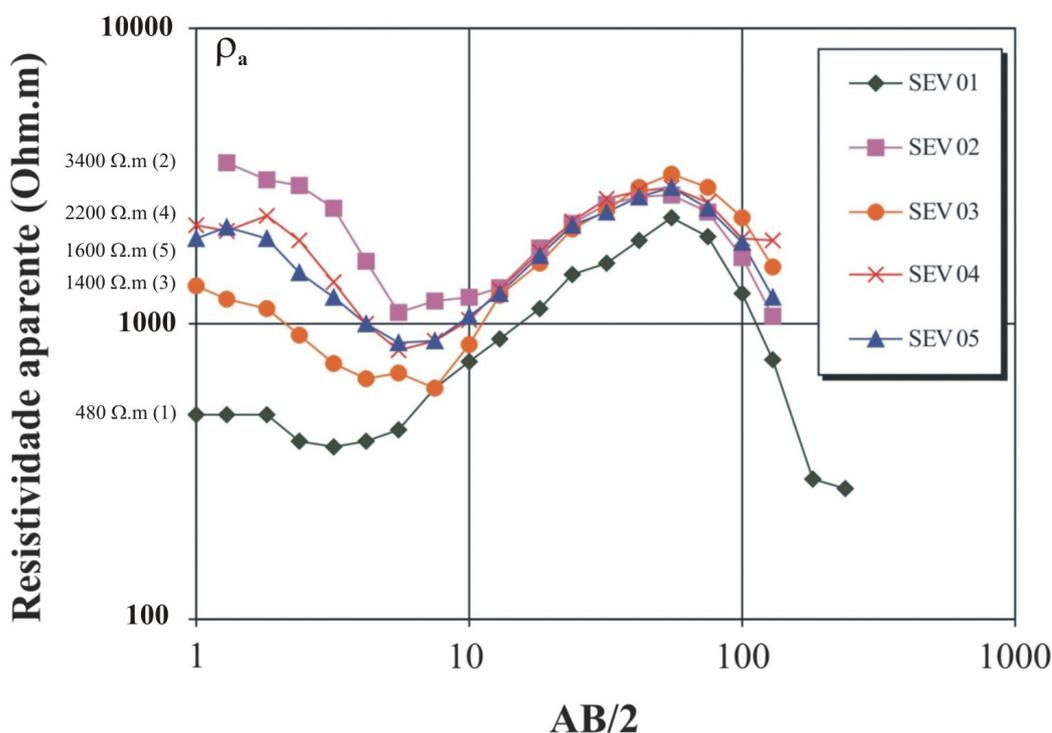


Figura 4 – Curvas de resistividade aparente em função da semiabertura $AB/2$ entre os eletrodos de corrente

Analisando-se estas curvas de resistividade elétrica, pode-se notar que as resistividades até $AB/2$, igual a 13 m, variaram bastante. Esta variação se deve à alteração na porosidade e à umidade do solo nos diferentes locais e deve ter influenciado nas respostas das curvas de resistividade nestas

camadas. A partir deste ponto, as curvas, com exceção da SEV-01, apresentaram comportamento muito próximo, o que permite concluir que são representativas de material com a mesma litologia e mesma umidade.

Com base nas curvas de resistividade aparente mostradas na Figura 4, cada SEV foi modelada através do software IPI2WIN. A profundidade investigada em cada camada obedeceu à relação $AB/4 \leq z \leq AB/6$, e o valor da resistividade da camada foi ajustado, até que o resíduo entre os dados observados e os dados calculados pelo modelo, fosse o menor possível. Todos os ajustes apresentaram um desvio quadrático médio inferior a 5 %. Os resultados de todas as modelagens estão na Tabela 1, que contém para cada SEV, a espessura da camada, a profundidade da base ao topo - entre parênteses em vermelho - e a respectiva resistividade elétrica de cada camada. Observa-se, na Tabela 1, que a mesma cor para as duas subcamadas indica que, de maneira geral, as variações nos valores de resistividade elétrica obtidos são representativos de material com comportamento resistivo muito parecido.

Em todas as SEVs a primeira camada foi subdividida em duas subcamadas, objetivando melhorar o ajuste da curva modelada. Verificou-se que as camadas e subcamadas ajustadas no modelamento compreenderam os horizontes do solo com espessuras entre 1,10m a 1,37m, e resistividades entre 480Ωm e 4300Ωm. A identificação em amarelo para as subcamadas referentes à primeira SEV, evidencia que os valores de resistividade elétrica obtidos apresentam diferenças significativas, em relação aos demais valores de resistividade elétrica referentes às demais SEVs. Os efeitos da presença de umidade no solo podem ser notados e são visíveis ao comparar a variação de resistividade obtida para a SEV01 com a variação de resistividade elétrica obtidos para as demais sondagens elétricas. As subcamadas identificadas com a cor verde caracterizam material mais resistivo, reflexo de horizontes mais secos, ao passo que o amarelo mostra horizontes mais saturados, em função da presença do aquífero freático que se encontra em menor profundidade no ponto investigado.

A segunda camada com espessura variando de 1,9m a 5,0m e resistividades entre 200Ωm e 740Ωm correspondem à presença da zona saturada do aquífero freático.

Na terceira camada com espessura média de 26,8m - entre 23m e 31m, o valor da resistividade elétrica foi maior que 4.000Ωm, indicando um substrato rochoso com material mais resistivo relacionado com a presença principalmente das concreções e diminuição da umidade. Este resultado está de acordo com os valores obtidos por Pereira (2005) na mesma região. O material concrecionário descortina altos valores de resistividade elétrica e, de acordo com Gonçalves (2003), foi encontrado em solos argilosos a argilo-arenosos com concreções ferruginosas com valores de resistividade variando entre 1000 a 7000Ωm. Nesta camada, as concreções e couraça ferruginosa são indicativo da presença da Formação Cachoeirinha.

Tabela 1 - Resistividade elétrica das camadas obtidas nos modelos ajustados nas cinco sondagens elétricas verticais, com as respectivas espessuras e profundidade da base da camada ao topo – entre parênteses em vermelho.

Camada	SEV 01		SEV 02		SEV 03		SEV 04		SEV 05	
	Esp. Cam. (m)	Resist. (Ohm.m)								
1	0,30	480	0,37	3400	0,36	1400	0,37	2200	0,37	1600
	0,80(1,10)	480	1(1,37)	4300	0,80(1,16)	2900	1(1,37)	2600	0,86(1,23)	1300
2	1,9(3)	200	5(6,37)	740	3,8(4,96)	530	3,5(4,87)	530	3(4,23)	390
3	23(26)	4000	24(30,37)	5600	27(31,96)	5700	29(33,87)	4900	31(35,23)	6300
4	72(98)	110		200		83		890		89

Na quarta camada, as curvas de resistividade elétrica apresentam também comportamento muito próximo com as resistividades elétricas das camadas ajustadas, variando de 83Ω.m a 200Ω.m para as SEVs 01, 02, 03 e 05, e 890 Ω.m para a SEV04. Apesar do valor mais elevado da resistividade elétrica obtida na SEV04, todas as curvas relativas às cinco SEVs revelam tendência para um ponto de mínimo, indicando a presença de zona saturada de um aquífero mais profundo, abaixo dos 30m na posição da SEV 01 e dos 35m na posição da SEV 05.

A quarta camada relativa à SEV01 atingiu a profundidade de 80m aproximadamente, enquanto que, para as demais SEVs, a profundidade investigada verticalmente pela sondagem elétrica foi de aproximadamente 42 m.

4.1 - Perfil geoeletrico.

Na Figura 5, são apresentados, num único plano, o conjunto das cinco SEVs. Os resultados obtidos em cada SEV, e a associação entre solo e substrato rochoso com as camadas modeladas permitiu constituir o perfil geoeletrico representativo da vertente.

No eixo das ordenadas se encontram representadas as altitudes, e no eixo das abscissas, as posições das SEVs ao longo da vertente.

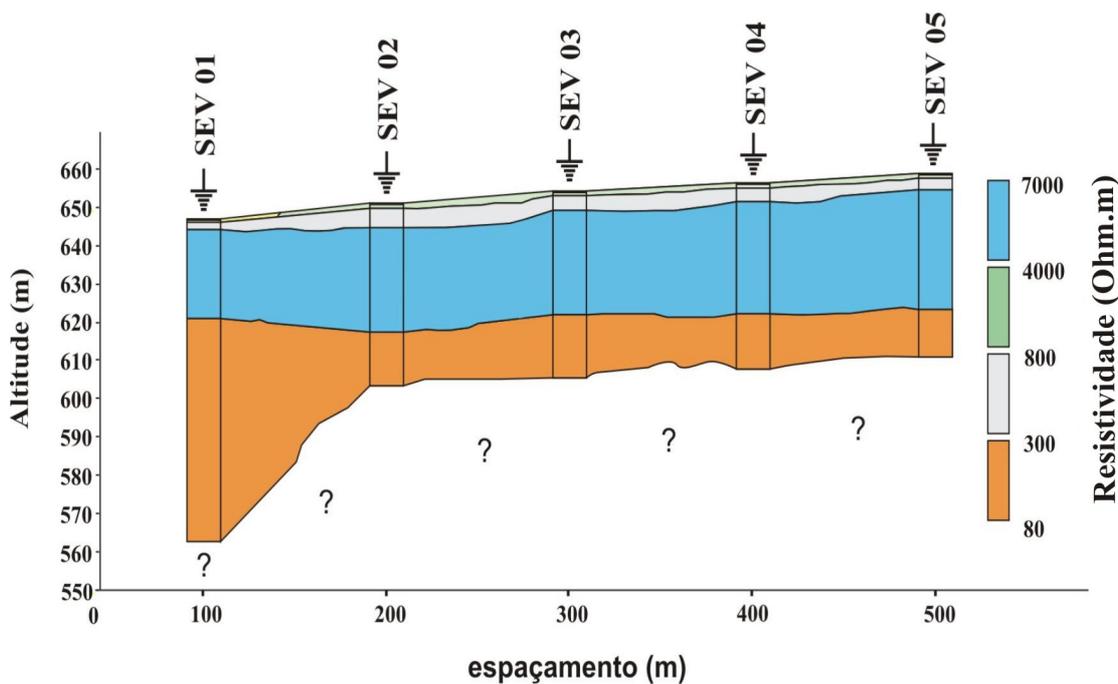


Figura 5 - Modelo geoeletrico da vertente, resultado da interpretaçao das curvas de resistividade aparente.

5 - CONCLUSOES.

Ensaio geofisicos, por meio de Sondagem Eletrica Vertical, permitiram, recorrendo-se à análise quantitativa, distinguir, identificar e relacionar as camadas de diferentes resistividades elétricas aos horizontes de solos e do substrato rochoso. Foi possível também determinar as espessuras das camadas.

Foi elaborado o modelo geoeletrico que mostra a espessura das camadas e a variaçao de resistividade elétrica resultante do processo de modelamento.

Foi possível associar a variaçao de resistividade elétrica com a presençaa do aquífero freático observado nas trincheiras e aprofundamento destas por tradagem.

O substrato rochoso, associado com a Formação Cachoeirinha, foi caracterizado por meio dos valores de resistividade elétrica obtidos na terceira camada e apoiados nas informações de pedologia levantadas na área de estudo, iniciando a uma profundidade média de 4,7m.

Os valores de resistividade aparente, obtidos na terceira camada, atingiram a profundidade média aproximada de 26,8m, Estas informações identificaram, a esta profundidade, com base nas características litológicas, a presençaa da Formação Cachoeirinha.

Abaixo da profundidade de aproximadamente 30m, os valores de resistividade elétrica diminuem, indicando a presençaa, abaixo desta profundidade, de zona saturada relativa a um aquífero na Formação Cambambe.

A associação dos dados geofísicos com os dados de pedologia e litologia permitiram a construção de uma seção geoeétrica representativa ao longo da vertente estudada.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOBACHEV, A. A; MODIN, I. N; PERVAGO, E. V; SHEVIN, V.A; **IPW2Win– Programs’ set for 1D SEV data interpretation..** Moscou State University -Geological Faculty– Departament of Geophysics 1999. <www.geol.msu.ru/deps/geophys/rec_labe.htm.IPI_min.doc> acesso em: 13/02/2005.

GONÇALVES, K. C. O. **Estudo morfopedológico aplicado à interpretação do funcionamento hídrico de vertente em micro-bacia representativa da Chapada dos Guimarães, no município de Primavera do Leste (MT), Cuiabá.** Monografia de Conclusão de Curso de Geologia. Universidade Federal de Mato Grosso. 104p. 2003.

DORES, E. F. G. C.; WEBER, O. L. S.; VECCHIATO, A. B.; SHIRAIWA, S.; SALOMÃO, F. X.; CUTRIM, A. O.; GUIMARÃES, S. C.; PINTO, A. A.; PEREIRA, M. J. **Estudo da contaminação de biocidas no ambiente e seu monitoramento em águas superficiais, subterrâneas e pluviais em regiões cotonícolas do Estado de Mato Grosso, 2ª fase. Relatório técnico** FACUAL, 2005. 112 p.

LACERDA FILHO, J.V, ABREU FILHO, W., VALENTE, C.R., OLIVEIRA, C.C, ALBUQUERQUE, M.C., **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso**-Programa Integração, Atualização e difusão de dados da geologia do Brasil, subprograma mapas geológicos estadual- Esc. 1:1000.000.Goiânia: CPRM, 2004(Convênio CPRM / SICME).200p. il.; +mapas.

ORELLANA, E. **Prospeccion geoeétrica en corriente continua.** Paraninfo. Madrid. 523 p. 1972.

PEREIRA,M. J. **Geofísica aplicada para caracterização de cobertura pedológica de uma vertente na região de Dom Aquino – MT.** Dissertação (Mestrado), 85p. Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de Ciências Exatas e da Terra. 2005.

ROY, A; APPARAO, A. Depth of investigartion in direct current methods. **Geophysics**, Vol 36(5), 943-959, 1971.

SEPLAN. **Zoneamento Sócio Econômico Ecológico de Mato Grosso.** Secretaria de Planejamento do Governo do Estado de Mato Grosso, 2002. <www.seplan.mt.gov.br/> acesso: 05/12/2007.

WESKA, R. K. Uma síntese do cretáceo superior mato-grossense. **Revista Geociências**, v. 25, n. 1, p. 71-81, 2006.